

Analisis Tegangan Statik pada Sistem Perpipaan *Fuel Bunkering Fluida High Speed Diesel (HSD)* Menggunakan CAESAR II

Alfatih¹, Yanto^{*1,2}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51 Jakarta 12930

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Raya Cisauk Lapan, Tangerang, Banten 15345

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i>	<i>The piping system has an important function to transport fluids from one place to another quickly and safely. Fluid flowing in the piping system produces different pressures, weights and temperatures. Piping systems must be designed properly and correctly in order to avoid failures and leaks. In this study, static stress analysis will be carried out on the fuel bunkering piping system to distribute High Speed Diesel (HSD) fluid. This study aims to analyze and obtain the amount of stress in the piping so that it will not exceed the permissible stress. Stress occurs due to sustained loading and thermal loading. Stress analysis was carried out using the CAESAR II software for two conditions, namely design conditions. The results of the design condition analysis show that the maximum stress at sustain load is 8533.85 lb/in² and the stress due to thermal load is 22008.59 lb/in². Stresses due to sustain loads and thermal loads are still within the permissible safe limits according to the type of material listed in ASME B31.3, namely 20,000 psi and 30,000 psi for sustain loads and thermal loads.</i>
<i>Received</i> 16 December 2025	
<i>Accepted</i> 02 February 2025	
<i>Keywords:</i> Stress static, Sustain Load, Thermal Load, CAESAR II, ASME B31.3	

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i>	Sistem perpipaan memiliki fungsi yang penting untuk menyalurkan fluida dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan cepat dan aman. Fluida yang mengalir pada sistem perpipaan menghasilkan tekanan, berat dan temperatur berbeda-beda. Sistem perpipaan harus dirancang dengan baik dan benar agar dapat menghindari dari kegagalan dan kebocoran. Pada kajian ini akan dilakukan analisis tegangan statik yang dilaksanakan pada sistem perpipaan fuel bunkering untuk menyalurkan fluida High Speed Diesel (HSD). Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mendapatkan besarnya tegangan pada perpipaan sehingga tidak melebihi tegangan yang diizinkan. Tegangan terjadi akibat pembebahan <i>Sustain (sustain load)</i> dan pembebahan <i>thermal (thermal load)</i> . Analisis tegangan dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak CAESAR II pada dua kondisi yaitu kondisi desain. Parameter tekanan desain sebesar 580,027 lb/in ² dan nilai temperatur desain 70° C, dari parameter tersebut hasil analisis kondisi desain menunjukkan bahwa tegangan maksimum pada pembebahan sustain load adalah sebesar 8533,85 lb/in ² dan tegangan akibat pembebahan thermal load sebesar 22008.59 lb/in ² . Tegangan akibat pembebahan sustain load dan pembebahan thermal load masih berada pada batas aman yang diizinkan sesuai dengan jenis material yang tertera pada ASME B31.3, yaitu 20.000 psi dan 30.000 psi untuk <i>sustain load</i> dan <i>thermal load</i> .
<i>Diserahkan:</i> 16 Desember 2025	
<i>Diterima:</i> 02 February 2026	
<i>Kata Kunci:</i> Tegangan statik, sustain load, thermal load, CAESAR II, ASME B31.3	

*Corresponding author. Yanto
Email address: yanto@atmajaya.ac.id

1. PENDAHULUAN

Sistem perpipaan dianggap sebagai urat nadi pada setiap industri karena memiliki fungsi yang penting yaitu menyalurkan fluida dari suatu tempat ke tempat lainnya dengan aman dan cepat. Fluida yang mengalir pada sistem perpipaan dapat berupa air, gas dan minyak, dimana fluida tersebut akan menghasilkan tekanan dan temperatur berbeda-beda (Rao *et al.*, 2021). Untuk mengantarkan fluida, sistem perpipaan harus dirancang dengan benar dan aman agar dapat menghindari dari kegagalan dan kebocoran, sehingga proses berjalan dengan aman (Husaini *et al.*, 2018). Pembuatan rancangan sistem perpipaan yang aman sangat menjamin kelangsungan dari proses serta lama pemakaian sistem perpipaan sesuai dengan estimasi siklus rancangan (Marseno dan Yanto, 2025). Lebih jauh, terjadinya kegagalan pada *pipeline* dapat menyebabkan kerugian besar, baik dari segi finansial, sosial, maupun lingkungan (Diansari dan Yanto, 2025).

Salah satu perusahaan yang bergerak dibidang regasifikasi yang berlokasi di Indonesia, pada saat ini sedang melakukan perencanaan jalur perpipaan pada fasilitas fuel bunkering untuk mengangkut fluida HSD (*High Speed Diesel*) yang akan digunakan sebagai bahan bakar kapal. Perlu dilakukan *Pipe Stress Analysis* untuk mengetahui tegangan kritis dan pembebanan yang terjadi pada perpipaan sehingga dapat menghindari kegagalan (Husaini *et al.*, 2018).

Pada studi kasus ini dilakukan *pipe stress analysis* terhadap desain perpipaan *fuel bunkering* untuk mengetahui besar tegangan yang dialami perpipaan tidak melebihi batas tegangan yang diizinkan material karena berbagai pembebanan pada saat kondisi statik (Rani dan Ramanathan, 2016). Pembebanan meliputi beban berkelanjutan (*Sustain Load*) dan beban thermal (*Thermal Load*) karena material dari sistem perpipaan harus dapat menahan tekanan berat dan temperatur dari fluida tersebut. Analisis tegangan dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak CAESAR II, dimana perangkat lunak tersebut telah memenuhi persyaratan sebuah alat bantu analisa karena telah berdasarkan pada kode dan standar yang baku untuk perpipaan (Husaini *et al.*, 2018).

2. METODE PELAKSANAAN

2.1 Code standar perancangan sistem perpipaan

Dalam merancang sistem perpipaan yang benar dan aman terdapat acuan supaya tidak terjadi kecelakaan atau kegagalan. ASME (*American Society of Mechanical Engineers*) merupakan salah satu komite yang mengembangkan kode standar pada perpipaan. ASME B31 dipakai karena merupakan standar industri yang diakui secara luas, menyediakan pedoman untuk memastikan keselamatan sistem perpipaan, serta kompetibel dengan kode lainnya sehingga memudahkan integrasi dengan sistem lain. Pemilihan kode yang digunakan pada perancangan sistem perpipaan berdasarkan pada jenis fasilitas tersebut. Terdapat kemungkinan suatu sistem pipa dirancang berdasarkan dua *code* yang berbeda karena faktor keamanan yang berbeda pada masing-masing *code*. Adapun beberapa *code* standar pada komite ASME yaitu:

1. ASME B31.1 untuk sistem perpipaan di industri pembangkit listrik.
2. ASME B31.3 untuk sistem perpipaan proses.
3. ASME B31.4 untuk sistem pipa transport minyak dan zat cair lainnya.
4. ASME B31.8 untuk pipa transport Gas.

2.2 Ketebalan minimum dinding pipa

Penentuan tebal pipa dilakukan sebelum kegiatan analisis tegangan pipa, dimana penentuan dilakukan ketikan *engineer* perpipaan mendefinisikan spesifikasi kelas dari

perpipaan. Ketebalan pemilihan pipa harus memperhatikan kemungkinan korosi (*corrosion allowance*), toleransi manufaktur (*mill tolerance*) dan sebagainya. Adapun persamaan yang digunakan dalam menentukan ketebalan pipa ASME B31.3 adalah:

$$t_m = t + c \dots \dots \dots \quad (1)$$

dimana:

t_m = Tebal minimum dinding pipa (in)

t = Tebal minimum dinding pipa akibat *internal pressure* (in)

c = Toleransi (allowance) untuk korosi

dimana:

P = Tekanan Desain (lb/in²)

D = Diameter luar Pipa (in)

S = Tekanan yang diizinkan material pada ASME B31.3

E = Joint Effisiensi

Y = Koefisien material

2.3 Pembebanan Pada Sistem Perpipaan

Jenis pembebanan yang sering terjadi pada perpipaan adalah beban yang disebabkan oleh beban internal yaitu tekanan, temperatur dan berat material pipa serta komponen-komponen sistem perpipaan. Setiap beban yang diterima pipa akan ditahan sesuai dengan kemampuan material. Adapun jenis pembebanan pada perpipaan diuraikan sebagai berikut:

2.3.1 Sustain Load

Sustain load adalah beban dari faktor internal yang terjadi secara terus menerus selama kondisi operasi normal, yang mana pembebahan berasal dari: berat sistem perpipaan (fluida, pipe, flange, valve, dan sebagainya) dan tekanan internal. Beban berkelanjutan (*sustain load*) merupakan *stress* yang di kelompok ke dalam *primary stress*, dimana stress terjadi akibat pembebahan secara terus menerus yang dapat mengakibatkan kegagalan sehingga dikelompokkan dalam *stress* yang berbahaya. Penanganan yang dilakukan biasa dengan mengatur peletakan jarak *support* untuk mengurangi tegangan yang terjadi. Pada ASME B31.3 edisi 2018 disebutkan bahwa untuk menentukan besarnya *Sustained Load* dapat diperoleh dari tegangan aksial, tegangan tekuk, dan tegangan torsi, dengan persamaan (ASME, 2020) sebagai berikut:

$$S_L = \sqrt{(|S_a| + S_b)^2 + (2S_t)^2} \dots \dots \dots \quad (3)$$

dimana:

S_L = Sustain load (lb/in²)

S_a = Tegangan aksial (lb/in^2)

S_b = Tegangan bending (lb/in^2)

S_t = Tegangan torsi (lb/in^2)

2.3.2 Thermal Load

Thermal load atau beban ekspansi adalah beban yang timbulkan akibat pemuaian ataupun pengerutan pada pipa yang disebabkan oleh temperatur fluida dan juga dapat terjadi karena panas dari lingkungan. *Thermal load* tergolong ke dalam kelompok *Secondary Stress* dimana stress ini diakibatkan temperatur fluida yang dapat membuat pipa mengerut atau memuai. *Secondary stress* bukanlah sebagai penyebab kegagalan material secara langsung

akibat beban tunggal. Jika pun terjadi stress yang melewati *yield strength*, maka efeknya hanyalah terjadi *local deformation* yang berakibat berkurangnya stress pada kondisi operasi.

Pada *thermal load* pembebanan dipengaruhi oleh *bending stress* dan *torsional stress*, adapun persamaan sebagai berikut:

$$S_E = \sqrt{(S_b)^2 + 4(S_t)^2} \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

dimana:

S_E = Thermal load (lb/in^2)

S_b = Tegangan bending (lb/in^2)

S_t = Tegangan torsi (lb/in^2)

Pada *Thermal load* nilai tegangan izin ditentukan dengan persamaan berikut (Nayyar, 2000):

$$S_A = f(1.25S_C + 0.25S_h) \dots \dots \dots \quad (5)$$

dimana:

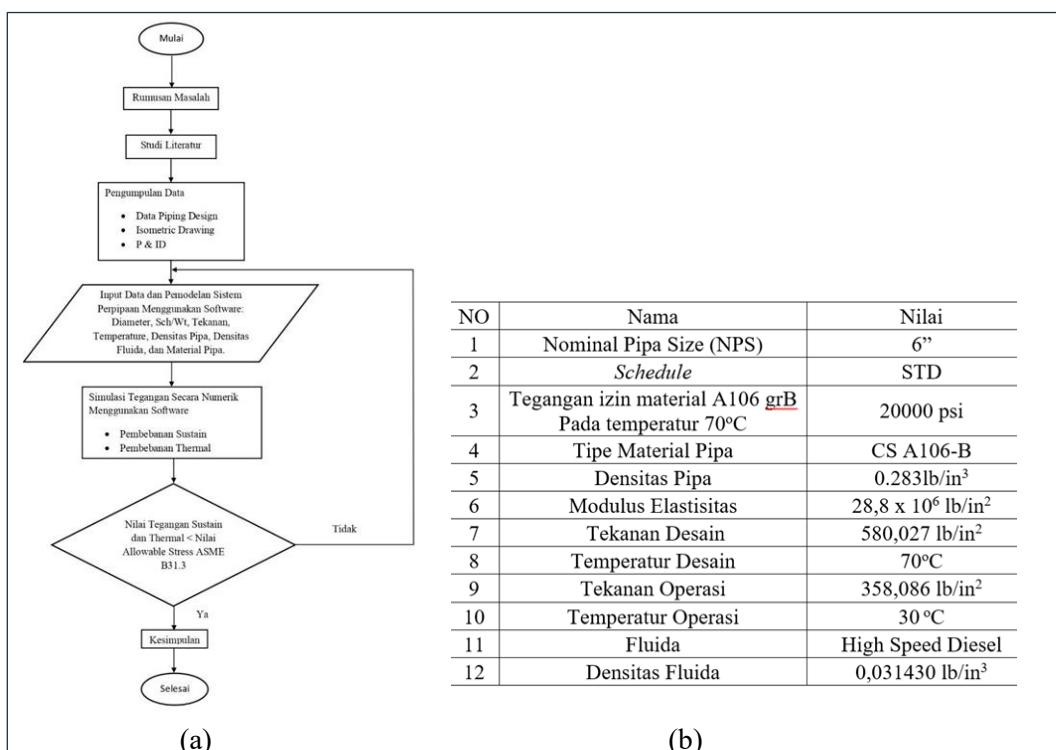
f = Stress Range Factor

S_C = tegangan yang diizinkan pada temperatur minimum

S_h = Tegangan yang diizinkan pada temperatur desain

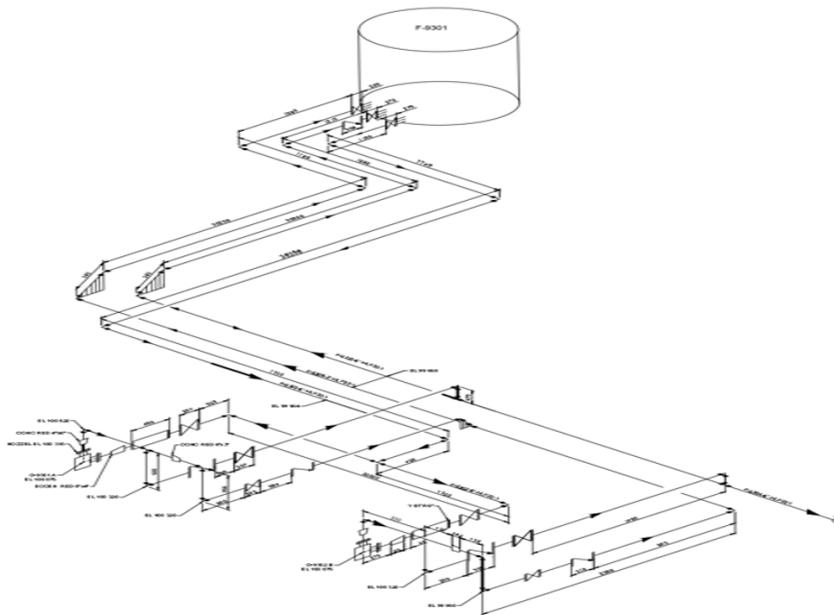
2.4 Metode Analisis

Analisis ini dilakukan menggunakan software caesar ii, adapun tahapan analisis dapat dilihat dalam diagram alir pada Gambar 1.a. Data pada studi kasus ini diperoleh dari Piping desain dapat dilihat dari tabel yang disajikan pada Gambar 1.b. Sementara itu, gambar isometrik perpipaan digunakan untuk mempermudah dalam melakukan input model (pada Gambar 2).



Gambar 1.

Diagram alir (a) dan daftar untuk parameter data input (b)



Gambar 2.
Isometrik sistem perpipaan

2.6 Analisis menggunakan Software CAESAR II

Dalam melakukan simulasi analisis menggunakan software CAESAR II terdapat tahapan input data, modeling sistem perpipaan, dan simulasi dan analisis sistem perpipaan. Untuk input data, tahapan awal dari proses simulasi dimulai dengan meng-input data *piping design* yang berisi berupa informasi seperti diameter luar, *schedule* pipa, nilai korosi, densitas fluida, densitas pipa, tekanan desain, temperatur desain dan lain-lainnya (Gambar 3a). Setelah melakukan input data tahapan selanjutnya adalah pemodelan line perpipaan sesuai dengan gambar *isometric* perpipaan dan pada tahapan ini juga dimasukkan komponen-komponen perpipaan seperti valve, flange, elbow, support beserta komponen lainnya (Gambar 3b).

The figure displays two panels of a piping system analysis software.

(a) Classic Piping Input

From:	8	Name:	<input type="text"/>
To:	13		<input checked="" type="checkbox"/> Bend
			<input type="checkbox"/> Reducer
DX:	<input type="text"/>		<input checked="" type="checkbox"/> Rigid
DY:	<input type="text"/>		<input type="checkbox"/> Expansion Joint
DZ:	111.125 mm		<input type="checkbox"/> SIFs & Tees
			<input checked="" type="checkbox"/> Restraints
			<input type="checkbox"/> Displacements
			<input type="checkbox"/> Hangers
			<input type="checkbox"/> Flange Checks
			<input type="checkbox"/> Nozzle Flex.
			<input type="checkbox"/> Nozzle Lmt Check
			<input type="checkbox"/> Forces/Moments
			<input type="checkbox"/> Uniform Loads
			<input type="checkbox"/> Wind / Wave
Diameter:	8.6250	>>	
Wt/Sch:	0.3220	>>	
<input type="checkbox"/> Seam Welded		>>	
WI Factor:	1.0000	>>	
-Mill Tol %:	12.5000	>>	
Corrosion:	0.1250	>>	
Pipe Den:	0.28300	>>	
Fluid Den 1:	0.03590	>>	
Fluid Den 2:		>>	
Hydro Den:		>>	
Temp 1:	158.0000	>>	
Temp 2:		>>	
Temp 3:		>>	
Pressure 1:	580.1509	>>	
Pressure 2:		>>	
Pressure 3:		>>	
Hydro Press:		>>	
Insulation Density:	0.00492	>>	
Cladding Density:		>>	
Clad Thk:		>>	
Insul Thk:	25.0000	>>	
Unit Weight:		>>	

(b)

The 3D piping model shows a horizontal run with several fittings and supports. Callouts numbered 1 through 6 point to specific components: 1 points to a valve gate, 2 to a support, 3 to another support, 4 to an elbow, 5 to a valve, and 6 to a tee. A legend on the right defines these numbers and their corresponding component types.

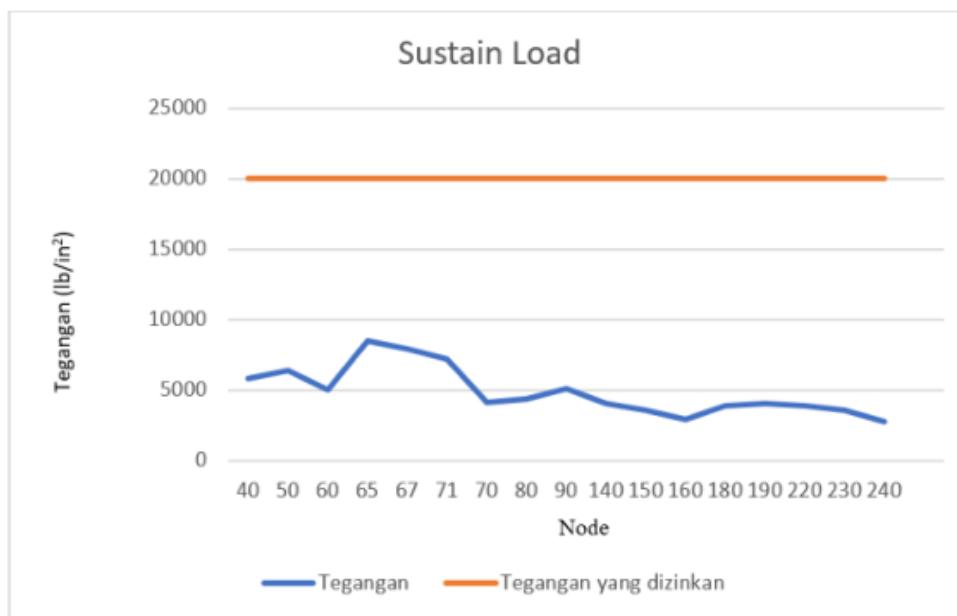
No.	Name
1	Valve Gate
2	Support
3	Support
4	Elbow 90°
5	Valve 45°
6	Tee

Gambar 3.
Input Data (a) dan Pemodelan sistem perpipaan (b)

Tahapan selanjutnya adalah simulasi dan analisis sistem perpipaan, yaitu melakukan *error check* untuk memastikan data input dan pemodelan line pipa yang dibuat sudah benar, jika terdapat eror maka analisis tidak dapat dijalankan dan perlu dilakukan perbaikan pada data ataupun model pipa. Kemudian dilakukan pemilihan jenis pembebahan yang akan dianalisis. Pada kasus ini dilakukan analisis pada berbagai pembebahan dengan standar reports adalah *stress summary*. Output dari hasil analisis berupa nilai dan hasil simulasi yang menampilkan daerah-daerah kritis pada sistem perpipaan sehingga memungkinkan perancang melakukan perbaikan untuk mencegah terjadinya kegagalan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada analisis sistem perpipaan menggunakan bantuan software CAESAR II, perpipaan disimulasikan dengan dua kondisi, yaitu kondisi operasi dan kondisi desain yang pada hasil akhirnya ditampilkan dalam bentuk grafik. Untuk hasil pembebahan yang diterima oleh sistem perpipaan, diperoleh grafik perbandingan hasil *stress* dari pembebahan *Sustained load* terhadap *allowable stress* (Gambar 4).

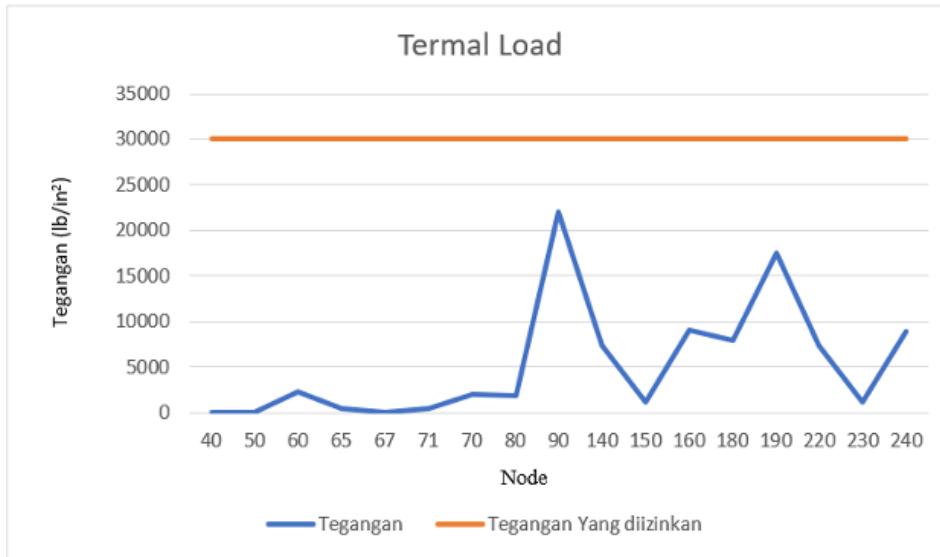


Gambar 4.

Grafik Hasil simulasi pembebahan *Sustain Load* pada kondisi desain

Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa hasil analisis menggunakan software CAESAR II dengan pembebahan sustain load menerima tegangan maksimum pada noda 65 yaitu $8533,85 \text{ lb}/\text{in}^2$ dimana nilai tersebut masih berada di bawah batas yang diizinkan dengan nilai yang diizinkan yaitu $20000 \text{ lb}/\text{in}^2$. Pada grafik diperlihatkan bahwa distribusi tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan tidak melewati batas tegangan yang diizinkan dan berada pada kondisi aman.

Pada pembebahan thermal load pada temperatur desain 70°C dan tekanan $580,151 \text{ lb}/\text{in}^2$ diperoleh grafik perbandingan nilai tegangan akibat pembebahan *thermal load* terhadap *allowable stress*. Grafik hasil simulasi pembebahan *Thermal Load* pada kondisi desain disajikan pada Gambar 5.

**Gambar 5.**

Grafik hasil simulasi pembebanan *Thermal Load* pada kondisi desain

Berdasarkan Gambar 5, dapat dilihat bahwa hasil analisis menggunakan software CAESAR II dengan pembebanan thermal menerima tegangan maksimum pada node 90 yaitu sebesar 22008,59 lb/in², yang mana nilai tersebut masih berada di bawah batas yang diizinkan yaitu sebesar 30000 lb/in² dan pada grafik tersebut dapat dilihat bahwa tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan tidak melewati batas tegangan yang diizinkan dan berada pada kondisi aman.

4. KESIMPULAN

Hasil analisis menggunakan software dengan pembebanan thermal menerima tegangan maksimum pada node 90, diperoleh hasil sebesar 22008,59 lb/in². Nilai ini berada di bawah batas yang diizinkan yaitu sebesar 30000 lb/in². Berdasarkan grafik, tegangan yang terjadi pada sistem perpipaan tidak melewati batas tegangan yang diizinkan. Dengan demikian dapat diambil kesimpulan bahwa sistem perpipaan berada pada kondisi yang aman.

5. DAFTAR PUSTAKA

- ASME. (2020). *Process Piping ASME Code for Pressure Piping, B31.3*. New York: The American Society of Mechanical Engineers. Diansari, R., & Yanto. (2025). Pipeline Integrity pada Pipa Gas Bumi 12 inci sepanjang 35,5 km. *Jurnal Praktik Keinsinyuran*, 2 (3), 221 – 226.
- Husaini, Mubarak, A.Z., & Agustiar, R. (2018). Study on pipe deflection by using numerical methods. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, 352 (1), 012021.
- Marseno, S., & Yanto. (2025). Analisa tegangan pipa untuk kebutuhan reverse engineering pipa penyalur. *Jurnal Praktik Keinsinyuran*, 2 (4), 477 – 486.
- Nayyar, M. L. (2000). *Piping Handbook*. Seventh Ed. USA: The McGraw-Hill Companies.
- Rao, R.N., Maiya, M., Prabhu, S., Santhosh, G., & Hebbar, G. (2021). The analysis of a piping system for Improvement of a System in a process unit. *Mater. Today Proc.* 46 (7), 2791-2797.
- Rani, M. J., & Ramanathan, K. (2016). Design and analysis of piping system with supports using CAESAR-II. *International Journal of Computer and Systems Engineering*, 10(5), 980-984.